

УДК 612.014.422

В.І. Мартиненко, студент гр. БП-61, к.т.н., доц. Терещенко М.Ф.

КПІ ім. Ігоря Сікорського

БІОІМПЕДАНСНИЙ АНАЛІЗ БІОСЕРЕДОВИЩА ТА СИСТЕМНИЙ БІОІМПЕДАНСНИЙ АНАЛІЗАТОР

Анотація. На сьогоднішній день в умовах стрімкого розвитку біомедичних технологій існує велика кількість методів та засобів діагностики та аналізу стану внутрішнього середовища тіла людини, які з кожним днем доповнюються, підвищуючи свою діагностичну чутливість і ефективність. Незважаючи на це, проблема знаходження найбільш раціонального методу аналізу структурного вмісту організму людини є досить актуальною. Серед великого ряду існуючих сьогодні діагностичних методів можна виділити біоімпедансний аналіз, який має високу практичність та доцільність використання завдяки своїй відносній простоті. Метод біоімпедансного аналізу заснований на вимірюванні електричної провідності різних структур та тканин тіла при використанні спеціалізованих пристроїв – біоімпедансних аналізаторів. Подібний аналіз вмісту тіла людини несе високу інформативність, оскільки він може вимірювати дисперсійні характеристики тканин, фазовий кут та аналізувати кількісні показники обміну в метаболізмі тканин.

Ключові слова: біоімпедансний аналіз, метаболізм, системний біоімпедансний аналізатор, дисперсійні характеристики тканин.

ВСТУП

Біоімпедансний аналіз входить в список найбільш застосованих діагностичних методів дослідження електричної провідності біологічних тканин, який дозволяє отримати об'єктивну функціональну оцінку стану організму. В загальному випадку такий метод використовують для знаходження індексу маси тіла та водневого балансу, локального виявлення порушень в сполучній тканині та неявних захворювань тканин людини, онкології, діабету тощо. [1]

Метод біоімпедансного аналізу виділяють серед інших діагностичних методів, оскільки за його допомогою отримується велика кількість різних параметрів, при умові того, що метод є досить простим та економічним у використанні. [2]

В той же час він має низку недоліків, серед яких низька чутливість до фізіологічних параметрів біологічних структур. Наприклад, золотим стандартом оцінки щільності вмісту тіла вважається метод гідростатичного зважування, а результати методів біоімпедансного аналізу та сусіднього з ним методом каліперометрії зазвичай отримують на основі лінійних регресійних залежностей, шляхом зіставлення з результатами еталонного методу. [3]

Для порівняння ефективності та доцільності використання біоімпедансного аналізу (БІА) розглянемо порівняльну таблицю аналогічних існуючих діагностичних методів табл.1.

Таким чином багаточастотний метод БІА, що використовує різні частоти діагностуючого сигналу для отримання важливих показників, може бути застосований для визначення, вимірювання та оцінки великого ряду значень кількісних показників: жирова маса тіла людини (ЖМТ); безжирова маса тіла (БМТ); вміст мінеральної маса тіла (ММТ); значення кількості загальної води в організмі людини (ЗВО); вміст та кількісні значення позаклітинної рідини (ПКР); вміст та кількісні значення клітинної маса тіла (КМТ); вміст та кількісні значення клітинної рідини в тілі людини (КР).

Таблиця 1. Основні характеристики вмісту тіла, досліджувані за допомогою різних існуючих методів [1]

<i>Показник Метод</i>	<i>БМТ</i>	<i>ЖМТ</i>	<i>ММТ</i>	<i>ЗВО</i>	<i>ПКР</i>	<i>КР</i>	<i>КМТ</i>
Каліперометрія	+	+					
Одночастотний БІА	+	+					+
Багаточастотний БІА	+	+		+	+	+	+
РКТ, МРТ	+	+					
Рентгенологічна денситометрія	+	+	+				
Методи розведення				+	+	+	

Для вимірювання значень імпедансу певного органа, кінцівки або сегмента тіла використовують два типи електродів – струмові та вимірювальні, які розташовуються згідно загальноприйнятого протоколу досліджень. [4]

На рис.1 моделюються зміни електричного поля, значень потенціалів на електродах 3 та 4, а відповідно, і значень імпедансів, при протікання електричного струму через двовірний об'єкт біосередовища, де струм тече між струмовими електродами 1 та 2.

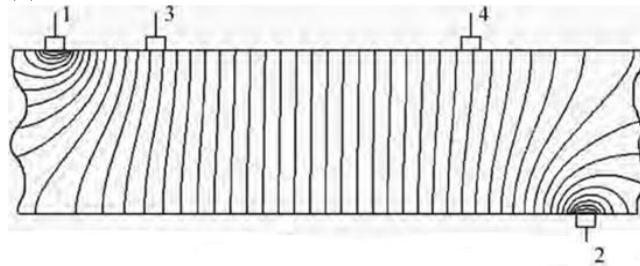


Рис.1. Електричне поле при проходженні струму вздовж

У загальних випадках, коли матеріал об'єкту ізотропний, то вектори щільності струму J визначаються формулою [1]:

$$J = \frac{E}{\rho} \quad (1)$$

де ρ – питомий опір,

E – вектор напруженості поля.

Картина електричного поля відображається за допомогою екіпотенційних поверхонь, які зображуються у вигляді екіпотенціальних ліній. Струм тече вздовж силових ліній електричного поля, які в свою чергу перпендикулярні екіпотенціальним поверхням. Вимірювальна напруга на даній моделі дорівнює різниці потенціалів між екіпотенціальними поверхнями, які мають контакти з вимірювальними електродами 3 та 4. [5]

Значення напруги U досліджуваного сегменту, визначається з формули [7]:

$$U = \int_L E dl = \int_L J \rho dl, \quad (2)$$

де L - інтеграл береться по шляху, між поверхнями,

dl - елемент шляху.

Кінцевий результат береться з розуміння того, що вимірювана напруга пропорційна модулю імпедансу та усереднена по вимірюваному сегменту.

РОЗРОБКА СИСТЕМНОГО БІОІМПЕДАНСНОГО АНАЛІЗАТОРУ

Виходячи з цих біофізичних закономірностей реалізація системного біоімпедансного аналізатора (СБА) для аналізу складу тіла людини можлива на основі мікроконтролера ATmega328 та 12-розрядного аналізатора ланцюгів AD5933, що кодує та виконує розгортку сигналу на частоті від 50кГц до 50,5кГц. Принципова структурна схема СБА базується на створенні каналу подачі струму до об'єкту дослідження, представлено на рис.2 та каналу реєстрації імпедансних показників сегментів тіла дослідження представлено на рис.3.

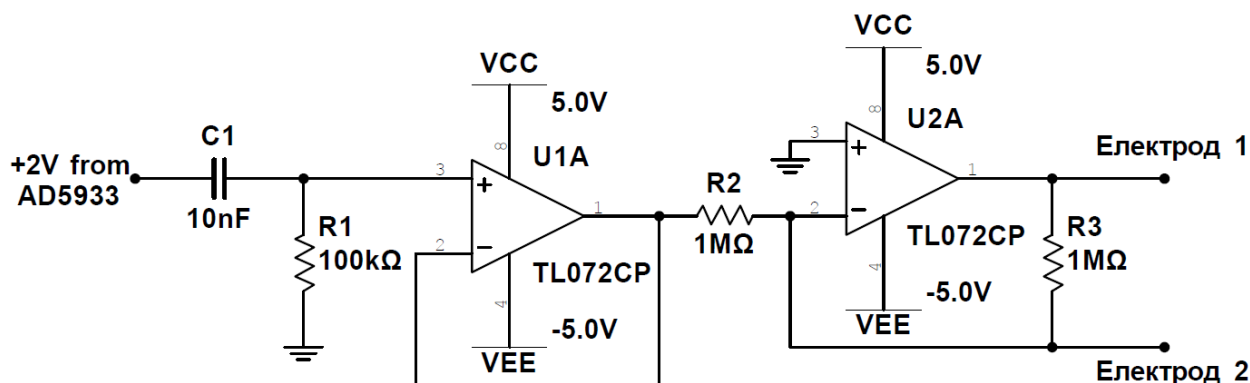


Рис.2. Принципова схема каналу подачі струму до струмових електродів 1,2

В основі схемотехнічного рішення аналізатора лежить фільтр верхніх частот виконаний на операційному підсилювачі (TL072), який використовується для уникнення та зрізу шумів на частотах розгортки нижче 50кГц. Збудження відбувається по двом струмовим (1,2) електродам, а реєстрація значень параметрів імпедансу - по двом вимірювальним (3,4). Дуже важливим є підключенням до струмових електродів резистору з високим опором, що забезпечує безпеку дослідження.

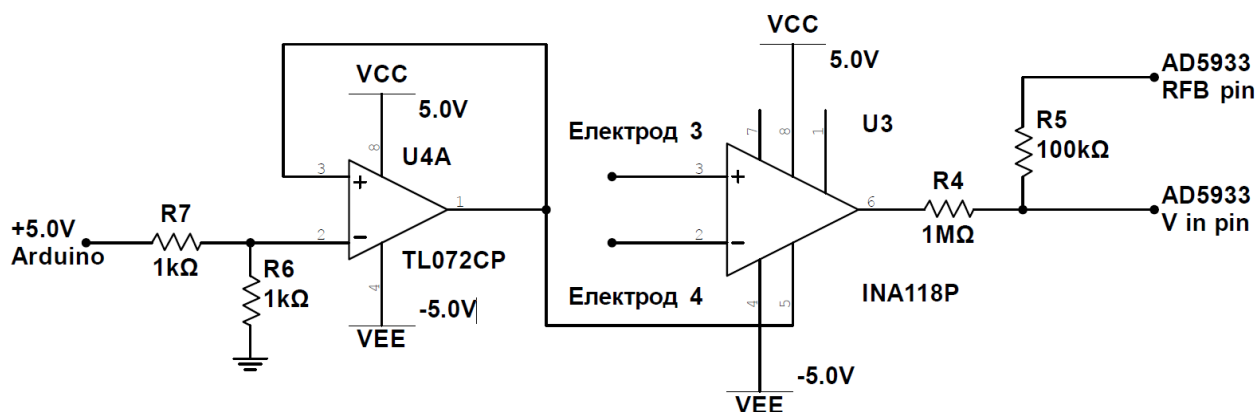


Рис.3. Принципова схема каналу реєстрації імпедансу за допомогою вимірювальних електродів 3,4

Використання високоточного енергоефективного інструментального підсилювача (INA118P) та резисторів (1kOm) обумовлюється тим фактом, що аналізатор ланцюгів (AD5933) може приймати лише позитивну напругу біля 2В. Сам аналізатор (AD5933) потребує калібрування коефіцієнту підсилення, який відбувається з розумінням, що коефіцієнт підсилення обернено пропорційний опору всього тіла.

Кінцевий результат роботи аналізатора є підрахунок середніх значень частотних та імпедансних показників з подальшим алгоритмом розрахунку частки жиру та кількості рідини досліджуваної ділянки тіла з використанням реалізованого програмним забезпеченням (ATmega328).[6]

ВИСНОВКИ

Таким чином розглянута методика біоімпедансного аналізу може надати велику інформативність параметрів, вимірюючи лише декілька значень електричних величин. Цього факту достатньо для широкого використання її в медичній практиці та первинної діагностики на її основі різних патологічних станів організму. Розробка біоімпедансного аналізатору базується на використанні двох взаємопов'язаних систем: подачі збуджуючих сигналів струму та реєстрації значень імпедансу. Спроектований прилад дає змогу досить точно вимірювати імпеданс, визначати значення кількісного показнику жирової тканини людини в подальшому, однак модернізуючи алгоритм та програмне забезпечення приладу можна досягти повного, загального аналізу структури тіла та водневого рівня організму.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Д.В. Николаев, А.В. Смирнов, И.Г. Бобринская, С.Г. Руднев «Биоимпедансный анализ состава тела человека», М. : Наука, 2010.
- [2] Терещенко М.Ф. Біофізика: підручник / М.Ф. Терещенко, Г. С. Тимчик, І.О. Яковенко. - К: КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2019.- 444 с. ISBN 978-966-622-942-0. <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/27589>
- [3] Терещенко М.Ф. Біофізика: практикум / М.Ф. Терещенко, Г. С.Тимчик, І.О. Яковенко. - К. : КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2019.- 288 с. ISBN 978-966-622-952-9 <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/28227>
- [4] Терещенко М.Ф. Біофізика: лабораторний практикум / М.Ф. Терещенко, Г. С.Тимчик, І.О. Яковенко. - Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2019.- 176 с. ISBN 978-966-622-980-2 <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/31467>
- [5] Цапенко В.В. Дослідження електропровідності біологічних тканин / В.В. Цапенко, М.Ф. Терещенко // XV Міжнародна науково-технічної конференції «Фізичні процеси та поля технічних і біологічних об'єктів»: Матеріали конференції.– Кременчук: КрНУ, 2016. – 180 с., С. 92-93.
- [6] М.Ф. Терещенко, Г. С. Тимчик, М. В. Чухраєв, А. Ю. Кравченко, Ультразвукові фізіотерапевтичні апарати та пристрої: монографія. К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2018. ISBN 978-966-622-874-4, <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/25501>

Наук. керівник – к.т.н., доцент Терещенко М.Ф.